

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Heinz-Dieter HELLMANN et al.
Serial No.: To Be Assigned Customer No.: 23911
Filed: November 19, 2003
Title: METHOD AND APPARATUS FOR EARLY FAULT
DETECTION IN CENTRIFUGAL PUMPS

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. §119

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

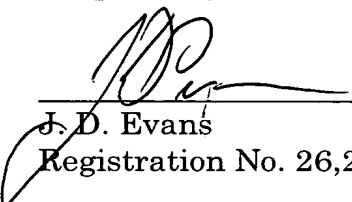
Sir:

The benefit of the filing date of prior foreign application No. 102 54 041.1, filed in Federal Republic of Germany on November 20, 2002, is hereby requested and the right of priority under 35 U.S.C. §119 is hereby claimed.

In support of this claim, filed herewith is a certified copy of the original foreign application.

Respectfully submitted,

November 19, 2003



J.D. Evans
Registration No. 26,269

CROWELL & MORING, LLP
Intellectual Property Group
P.O. Box 14300
Washington, DC 20044-4300
Telephone No.: (202) 624-2500
Facsimile No.: (202) 628-8844
JDE/tlm



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 54 041.1

Anmeldetag: 20. November 2002

Anmelder/Inhaber: KSB Aktiengesellschaft,
Frankenthal, Pfalz/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Störungsfrüh-
erkennung bei Kreiselpumpen

IPC: F 04 D 29/04

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 09. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Scholz

K S B A k t i e n g e s e l l s c h a f t

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Störungsfrüherkennung bei Kreiselpumpen

Gegenstand der Erfindung sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Störungsfrüherkennung bei einer mit einer Entlastungseinrichtung ausgestatteten Kreiselpumpe, wobei die Entlastungseinrichtung einen axialen Spalt und gegebenenfalls einen oder mehrere radiale Spalte besitzt, über welche ein Entlastungsstrom geführt wird, wobei ferner ein die Entlastungseinrichtung im Sinne eines Abhebens von dem oder den radialen Spalten beaufschlagendes Federelement vorhanden ist.

Zur Störungsfrüherkennung bei Kreiselpumpen wurden bisher Sensoren eingesetzt, welche von einer Norm abweichende Schwingungen, Erwärmungen, Geräusche oder andere meßbare Größen feststellten und einer Überwachungseinheit übermittelten. Eine Vielzahl der Sensoren war zu diesem Zweck an der Außenseite des Pumpengehäuses angeordnet. Eine direkte Verbindung mit dem Ort einer Störungsentstehung bestand somit nicht. Die von den Sensoren bezogenen Signale waren nicht immer klar und eindeutig, so daß Fehlmeldungen nicht ausgeschlossen werden konnten. Vor allem bestand die Gefahr, daß solche Meldungen erst spät erfolgten, ein Schaden also bereits eingetreten war.

Eine wesentliche Störung im Inneren der Kreiselpumpe ergibt sich, wenn Lager verschleifen oder wenn eine Entlastungseinrichtung nur noch unzureichend arbeitet. Eine solche Störung kann schleichend erfolgen. So mag sie in ihren Anfängen noch ohne außen an der Kreiselpumpe feststellbare Symptome bleiben und erst nach Eintritt eines erheblichen Schadens und einem möglichen Ausfall der Kreiselpumpe manifest werden.

Es kann zwar auch eine Bestimmung von Axialkräften mit Hilfe eines axial berührenden Sensors, einer Kraftmeßdose, vorgenommen werden. Eine solche

Kraftmeßdose kann aber aus konstruktiven Gesichtspunkten nicht dauerhaft eingesetzt werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Störungsfrüherkennung bei Kreiselpumpen der eingangs genannten Art zu schaffen, welche bei weitgehender Nutzung bereits vorhandener Elemente eine zuverlässige Aussage über sich anbahnende Störungen erbringen.

Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß während des Betriebes der Kreiselpumpe, ausgehend von der Pumpenkennlinie der Kreiselpumpe und der Federkonstanten des Federelementes, die Verformung des Federelementes gemessen und ein Rückschluß auf den aktuellen Betriebspunkt der Kreiselpumpe gezogen wird.

In zweckmäßiger Ausgestaltung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß jeweils für den mittels der Störungsfrüherkennung zu überwachenden Kreiselpumpentyp und das zu fördernde Medium Basismessungen vorgenommen werden, die die Axialkraft, die Entlastungskraft und die Druckverteilung im Radseitenraum mit Betriebspunkten auf der Kennlinie der Kreiselpumpe ins Verhältnis setzt.

Außerdem wird vorgeschlagen, daß eine die Frequenzspektren des Federelementes ermittelnde dynamische Messung zur Feststellung von Frequenzbändern, welche dem Förderstrom zugeordnet werden und damit einen Hinweis auf mögliche Störungen in der Kreiselpumpe geben, vorgenommen wird.

In besonders gelagerten Fällen, insbesondere bei einer grundsätzlichen Untersuchung der auf die Welle einer Kreiselpumpe einwirkenden Axialkräfte, kann es von Vorteil sein, mit Hilfe eines zweiten Federelementes, welches in Gegenrichtung zum ersten Federelement angeordnet ist, auch eine Kontrolle auf einen in Richtung der Druckseite der Kreiselpumpe erfolgenden Axialschub und gegebenenfalls eine Messung dieses Axialschubes vorzunehmen. Ein solcher Axialschub kann bei extremer Überlast und einer daraus resultierenden Schubumkehr auftreten.

Eine besonders vorteilhafte Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ergibt sich, wenn als Federelement ein kardanischer Ring verwendet wird, der so dimensioniert ist, daß er durch eine aufgrund der Auslegung der Entlastungseinrichtung vorgegebene definierte Rest-Axialkraft zur Einstellung eines ebenfalls vorgegebenen Axialspaltes verformt wird. Eine mit den genannten Elementen ausgestattete Entlastungseinrichtung ist bekannt durch die WO 00/77405 A1.

Der Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens und der dieses Verfahren nutzenden Vorrichtung empfiehlt sich insbesondere für die Erkennung eines beginnenden Lagerverschleißes oder unzulässiger hydraulischer Vorgänge sowie zur Vermeidung eines Anlaufens des Rotors am Gehäuse der Kreislpumpe.

Das erfindungsgemäße Verfahren und seine Vorrichtung kommen mit einem Minimum an Sensoren aus. Durch ihre unmittelbare Anbindung an die Entlastungseinrichtung ergibt sich eine sehr frühzeitig und zuverlässig reagierende Störungserkennung. Durch das elastische Verhalten des in der als besonders vorteilhaft angesehenen Vorrichtung verwendeten Kardanringes kann im übrigen das rotordynamische Verhalten der Kreislpumpe stabilisiert werden.

Anhand eines Ausführungsbeispiels wird die Erfindung näher erläutert. Die Zeichnung zeigt in

Fig.1 einen Ausschnitt aus einer im Schnitt dargestellten mehrstufigen Kreislpumpe mit einem saugseitig angeordneten kardanischen Ring, der sowohl zur Einstellung eines vorgegebenen Axialspaltes an einer Entlastungseinrichtung als auch als Element einer Axialkraft-Meßeinrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dient;

Fig. 2 einen Ausschnitt aus einer im wesentlichen der Ausführung der Fig. 1 entsprechenden Kreislpumpe mit einem saugseitig und einem druckseitig angeordneten kardanischen Ring zur Schaffung einer in beiden Schubrichtungen wirkenden Axialkraft-Meßvorrichtung;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Kreiselpumpe mit einer Einrichtung zur Verarbeitung der von der Axialkraft-Meßvorrichtung aufgenommenen Signale.

Wie in der Fig. 1 dargestellt, ist in dem Gehäuse 1 einer Kreiselpumpe eine Welle 2 gelagert, die mehrere Laufräder 3 trägt. In der Zeichnung sind nur zwei der Laufräder 3 erkennbar.

Auf der Welle 2 ist im übrigen der Doppelkolben 4 einer erfindungsgemäßen Entlastungseinrichtung befestigt. Der Doppelkolben 4 wird umgeben von einem Gehäuseteil 5, mit dem er zwei radiale Spalte 6 und 7 bildet. Zwischen den radialen Spalten 6 und 7 befindet sich ein axialer Spalt 8. Der axiale Spalt 8 hat eine veränderliche Weite s .

Am druckseitigen Ende der Kreiselpumpe wird die Welle 2 durch ein hydrodynamisches Axiallager 9 aufgenommen. Dem Axiallager 9 ist ein kardanischer Ring 10 zugeordnet. Der kardanische Ring 10 dient zunächst in bekannter Weise dem Ausgleich von Fluchtungsfehlern, die bei der Montage einer mehrstufigen Kreiselpumpe unvermeidlich sind. Im übrigen ist der kardanische Ring 10 so dimensioniert, daß er durch den in der Kreiselpumpe auftretenden, zur Saugseite hin gerichteten Restschub elastisch verformt wird. Dabei ist die Federkonstante des kardanischen Ringes 10 an die übrigen Gegebenheiten der Entlastungseinrichtung angepaßt:

Die Entlastungseinrichtung ist so ausgelegt, daß sich in allen Betriebszuständen der Kreiselpumpe ein Restschub ergibt, der in Richtung der Saugseite wirkt. Ausgehend von einer maximalen Weite s des axialen Spaltes 8 im Ruhezustand der Kreiselpumpe wird nun durch eine elastische Verformung des kardanischen Ringes 10 der Spalt 8 unter Betriebsbedingungen bis auf eine vorgegebene Minimalweite geschlossen, bei welcher eine Berührung der den Spalt 8 begrenzenden Flächen des Doppelkolbens 4 und des Gehäuseteils 5 noch vermieden wird. Dabei kommt der Entlastungseinrichtung zustatten, daß der axiale Spalt 8 eine selbstregelnde Funktion besitzt.

Durch die Integration des kardanischen Ringes 10 in eine geeignete Meßvorrichtung werden frühzeitig solche Kräfte erkennbar, die auf unzulässige hydraulische Zustände oder einen einsetzenden Lagerverschleiß hindeuten. Die während des Pumpenbetriebes erfolgende Verformung des kardanischen Ringes 10 wird durch ein geeignetes Mittel, beispielsweise einen - nicht dargestellten - Dehnungsmeßstreifen bekannter Art, festgestellt und als Signal über eine Leitung 11 zu einer Einrichtung zur Signalverarbeitung übermittelt. Die direkte mechanische Ankopplung des als Axialkraftaufnehmer wirkenden kardanischen Ringes 10 an das Meßsystem ermöglicht die Messung von Signalen ohne den dämpfenden Einfluß eines Fluidfilms, welcher sich bei berührungslosen Aufnehmern stets zwischen Sensor und Bauteil befindet.

Die in der Fig. 2 dargestellte Axialkraft-Meßvorrichtung ist, wie die Vorrichtung der Fig. 1, am druckseitigen Lagerträger 12 einer Hochdruck-Gliederpumpe angebracht. Die einzelnen Komponenten der Meßvorrichtung werden von einem zylindrischen Gehäuse 13 aufgenommen. Die Anpassungskonstruktion sieht den Einsatz von zwei kardanischen Ringen 14, 15 vor, wodurch die Messung von Axialkräften in beiden Wirkungsrichtungen ermöglicht wird. Zur Stabilisierung des rotordynamischen Verhaltens können die kardanischen Ringe 14, 15 vorgespannt werden. Dies geschieht beim saugseitigen Ring 14 über einen Distanzring 16, beim druckseitigen Ring 15 über eine Distanzbuchse 17.

Die Krafteinleitung in die Vorrichtung erfolgt ausgehend vom Pumpenrotor über einen Axiallagerteller 18, welcher drehfest mit der Welle 2 verbunden ist. Der Axiallagerteller 18 überträgt je nach Wirkungsrichtung des Axialschubs die Kraft auf eines von zwei Axialrillenkugellagern 19, 20, welche direkt an die kardanischen Ringe 14, 15 gekoppelt sind. Die kardanischen Ringe 14, 15 werden auf Durchbiegung beansprucht und stellen somit Federelemente in einer Kraftschlusskette dar. Unausgeglichene Restkräfte werden über den Distanzring 16 oder die Distanzbuchse 17 in das Gehäuse weitergeleitet. Durch jeweils einen Zylinderstift 21 werden die kardanischen Ringe 14, 15 gegen ein Verdrehen gesichert. Über Leitungen 22 und 23 wird der Verformungszustand einer Einrichtung zur Signalverarbeitung übermittelt.

In der Fig. 3 ist die Signalverarbeitung der über die kardanischen Ringe 14, 15 an einer Hochdruck-Gliederpumpe 24 aufgenommenen Meßsignale schematisch dargestellt. Erstes Glied der Axialkraftmeßkette sind die mit - nicht dargestellten - Dehnungsmeßstreifen (DMS) applizierten kardanischen Ringe 14, 15. Wie bereits ausgeführt, ist je ein Ring 14 bzw. 15 pro Belastungsrichtung vorgesehen. Auf jedem Ring 14, 15 sind zwei - nicht dargestellte - DMS-Vollbrücken installiert, deren Ein- und Ausgangssignale parallel geschaltet werden. Durch Speisung mit einer konstanten Spannung über einen Meßverstärker und bei identischen Kennwerten der in den Brücken verwendeten DMS bildet die Schaltung den elektrischen Mittelwert der beiden Brückenausgangssignale. Hierdurch werden die durch eventuelle exzentrische Krafteinleitung in die Ringe verursachten ungleichmäßigen Spannungsverteilungen ausgeglichen.

Das Ausgangssignal wird über einen DMS-Verstärker 25 an einen Meßwertumformer 26 weitergeleitet. Dieser wandelt das Signal in eine Ausgangsspannung von 0-10V um. Anschliessend wird das Signal an eine Meßwerterfassungskarte eines Computers 27 geleitet, wodurch eine Darstellung und Weiterverarbeitung der aufgenommenen Meßdaten möglich ist.

Die in Fig. 3 dargestellte Vorrichtung ist als Versuchsaufbau zu betrachten. Für den praktischen Betrieb können die verwendeten Elemente zum großen Teil in die Kreispumpe 24 integriert werden. Auf einzelne der Elemente kann in der praktischen Anwendung auch verzichtet werden, so z.B. auf den druckseitigen Ring 15. Anstelle zweier Axialrillenkugellager 19, 20 kann auch ein hydrodynamisches Axiallager verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Störungsfrüherkennung bei einer mit einer Entlastungseinrichtung ausgestatteten Kreiselpumpe, wobei die Entlastungseinrichtung einen axialen Spalt und gegebenenfalls einen oder mehrere radiale Spalte besitzt, über welche ein Entlastungsstrom geführt wird, wobei ferner ein die Entlastungseinrichtung im Sinne eines Abhebens von dem oder den radialen Spalten beaufschlagendes Federelement vorhanden ist **dadurch gekennzeichnet**, daß während des Betriebes der Kreiselpumpe (24), ausgehend von der Pumpenkennlinie der Kreiselpumpe (24) und der Federkonstanten des Federelementes (10, 14), die Verformung des Federelementes (10, 14) gemessen und ein Rückschluß auf den aktuellen Betriebspunkt der Kreiselpumpe (24) gezogen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils für den mittels der Störungsfrüherkennung zu überwachenden Kreiselpumpentyp und das zu fördernde Medium Basismessungen vorgenommen werden, die die Axialkraft, die Entlastungskraft und die Druckverteilung im Radseitenraum mit Betriebspunkten auf der Kennlinie der Kreiselpumpe (24) ins Verhältnis setzt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils für den mittels der Störungsfrüherkennung zu überwachenden Kreiselpumpentyp und das zu fördernde Medium eine die Frequenzspektren des Federelementes (10, 14) ermittelnde dynamische Messung zur Feststellung von Frequenzbändern, welche dem Förderstrom zugeordnet werden und damit einen Hinweis auf mögliche Störungen in der Kreiselpumpe (24) geben, vorgenommen wird.
4. Verfahren zur Störungsfrüherkennung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß mit Hilfe eines zweiten Federelementes (15), welches in Gegenrichtung zum ersten Federelement (14) angeordnet ist, eine Kontrolle auf einen in Richtung der Druckseite der Kreiselpumpe (24) erfolgenden Axialschub und gegebenenfalls eine Messung dieses Axialschubes vorgenommen wird.

5. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Federelement ein kardanischer Ring (10, 14) verwendet wird, der so dimensioniert ist, daß er durch eine aufgrund der Auslegung der Entlastungseinrichtung vorgegebene definierte Rest-Axialkraft zur Einstellung eines ebenfalls vorgegebenen Axialspaltes verformt wird.
6. Anwendung des Verfahren zur Störungsfrüherkennung nach einem der Ansprüche 1 bis 4 zur Erkennung eines beginnenden Lagerverschleißes.
7. Anwendung des Verfahren zur Störungsfrüherkennung nach einem der Ansprüche 1 bis 4 zur Vermeidung eines Anlaufens des Rotors am Gehäuse der Kreiselpumpe.
8. Anwendung des Verfahren zur Störungsfrüherkennung nach einem der Ansprüche 1 bis 4 zur Erkennung unzulässiger Kavitationszustände.

Z u s a m m e n f a s s u n g

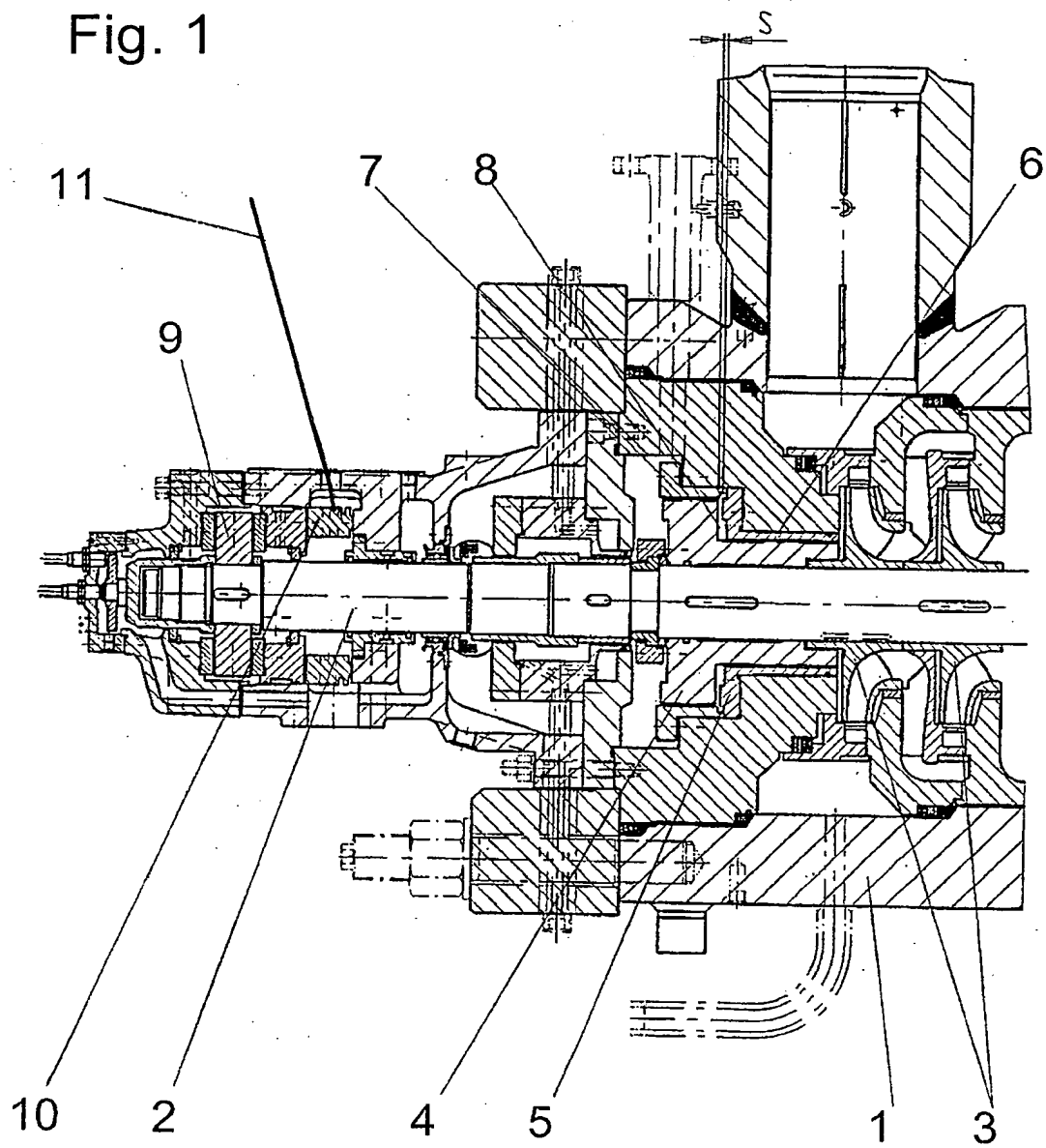
Verfahren und Vorrichtung zur Störungsfrüherkennung bei Kreiselpumpen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Störungsfrüherkennung bei einer mit einer Entlastungseinrichtung ausgestatteten Kreiselpumpe, wobei die Entlastungseinrichtung einen axialen Spalt und gegebenenfalls einen oder mehrere radiale Spalte besitzt, über welche ein Entlastungsstrom geführt wird, wobei ferner ein die Entlastungseinrichtung im Sinne eines Abhebens von dem oder den radialen Spalten beaufschlagendes Federelement vorhanden ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, welche bei weitgehender Nutzung bereits vorhandener Elemente eine zuverlässige Aussage über sich anbahnende Störungen erbringen.

Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß während des Betriebes der Kreiselpumpe (24), ausgehend von der Pumpenkennlinie der Kreiselpumpe (24) und der Federkonstanten des Federelementes (10, 14), die Verformung des Federelementes (10, 14) gemessen und ein Rückschluß auf den aktuellen Betriebspunkt der Kreiselpumpe gezogen wird (Fig. 1).

Fig. 1



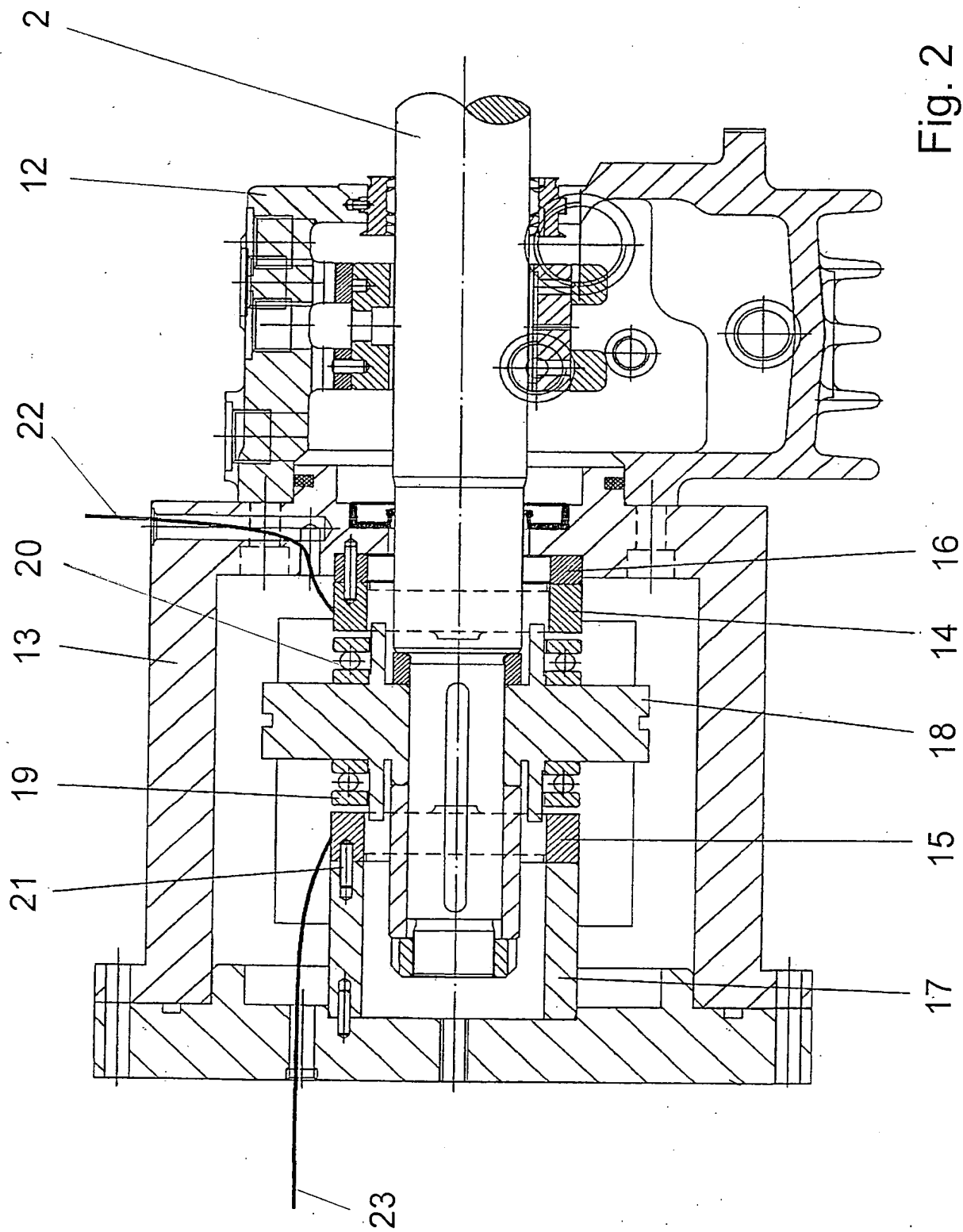


Fig. 2

Fig. 3

